

Forensische Diagnostik des Skeletalters bei Lebenden – Hintergründe und Methodik

Forensic Diagnostics of the Skeletal Age in the Living – Backgrounds and Methodology

Autorinnen/Autoren

Daniel Wittschieber¹, Maria Luise Hahnemann², Hans-Joachim Mentzel³

Institute

- 1 Institute of Forensic Medicine, University Hospital Bonn, Germany
- 2 Department of Neuroradiology, University Hospital Bonn, Bonn, Germany
- 3 Institute of Diagnostic and Interventional Radiology, Section of Pediatric Radiology, Jena University Hospital, Jena, Germany

Key words

forensic age diagnostics, skeletal age, ossification stages, forensics

eingereicht 04.01.2023

akzeptiert 04.07.2023

Artikel online veröffentlicht 12.09.2023

Bibliografie

Fortschr Röntgenstr 2024; 196: 254–261

DOI 10.1055/a-2130-3162

ISSN 1438-9029

© 2023, Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Daniel Wittschieber
Institute of Forensic Medicine, University Hospital Bonn,
Stiftsplatz 12, 53111 Bonn, Germany
Tel.: ++49/2 28/73 83 15
daniel.wittschieber@ukbonn.de

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund Die von staatlichen Institutionen angeforderten Gutachten zur Forensischen Altersdiagnostik dienen dem Nachweis des Überschreitens juristisch relevanter Altersgrenzen, vor allem des vollendeten 18. Lebensjahrs. Gemäß den Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik (AGFAD) erfordert dies unter anderem eine Bestimmung des Skeletalters.

Methode Unter Berücksichtigung des aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstandes werden die derzeitigen Rahmenbedingungen und etablierten Methoden der Skeletaltersdiagnostik dargestellt. Ergänzend werden der Einfluss von Ethnie und sozioökonomischem Status, Fragen der Indi-

kationsstellung, strahlenschutzrechtliche Aspekte sowie alternative und zukünftige Entwicklungen beleuchtet.

Ergebnisse und Schlussfolgerung Im Rahmen der Forensischen Altersdiagnostik sind zur Skeletaltersbestimmung vor allem die Handradiographie und die Dünnschicht-CT-Untersuchung der medialen Claviculaepiphysen relevant. Dafür werden zumeist die Atlasmethode nach Greulich u. Pyle (1959) bzw. die Schlüsselbeinstadien nach Schmeling et al. (2004) und Kellinghaus et al. (2010) angewandt. Dieses auf einer sehr soliden Datenbasis beruhende Methodenspektrum könnte in Zukunft möglicherweise durch MRT-Untersuchungen des Kniegelenks ergänzt werden.

Kernaussagen:

- Die Skeletaltersbestimmung ist essenzieller Bestandteil der von Behörden und Gerichten beauftragten Forensischen Altersdiagnostik.
- Handradiographie und CT-Untersuchung der medialen Claviculaepiphysen bilden den Kern des von der Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik (AGFAD) empfohlenen Methodenspektrums zur Evaluierung des Skeletalters.
- Da es sich bei den für die Forensische Altersdiagnostik erforderlichen Röntgenuntersuchungen nicht um medizinisch indizierte Untersuchungen handelt, ist im Rahmen der Gutachtenbeauftragung darauf zu achten, dass die im jeweiligen Fall anzuwendende gesetzliche Ermächtigungsbasis konkret benannt wird.
- MRT-Untersuchungen des Kniegelenks könnten in naher Zukunft möglicherweise das Methodenspektrum erweitern.

Zitierweise

- Wittschieber D, Hahnemann ML, Mentzel H. Forensic Diagnostics of the Skeletal Age in the Living – Backgrounds and Methodology. Fortschr Röntgenstr 2024; 196: 254–261

ABSTRACT

Background The expert opinions on forensic age diagnostics requested by state institutions are used to show the exceeding of legally relevant age thresholds, especially the completed 18th year of life. According to the recommendations of the Study Group on Forensic Age Diagnostics (AGFAD), this requires – among other things – a determination of skeletal age.

Method Considering recent scientific knowledge, the current conditions and established skeletal age diagnostics methods are presented. Additionally, this review article sheds light on the influence of ethnicity and socioeconomic status, questions regarding indication, as well as alternative and future developments.

Results and Conclusion In forensic age diagnostics, particularly hand radiography and thin-slice CT of the medial clavicular epiphysis are relevant for determining skeletal age. The Atlas method of Greulich and Pyle (1959) and the clavicular stages by Schmeling et al. (2004) and Kellinghaus et al. (2010) are primarily used for this. This spectrum of methods, which is based on a very solid database, might be supplemented by MRI studies of the knee joint in the near future.

lar epiphysis are relevant for determining skeletal age. The Atlas method of Greulich and Pyle (1959) and the clavicular stages by Schmeling et al. (2004) and Kellinghaus et al. (2010) are primarily used for this. This spectrum of methods, which is based on a very solid database, might be supplemented by MRI studies of the knee joint in the near future.

Einleitung

Neben zahlreichen klinischen Fragestellungen, die schon seit Anfang des 20. Jahrhunderts immer wieder Abschätzungen des Skeletalters erfordern [1], stieg innerhalb des letzten Jahrzehntes auch in Europa der Bedarf nach Skeletaltersschätzungen im juristischen Kontext [2, 3]. Bestehen Zweifel am chronologischen Alter einer Person, z. B. im Falle von jugendlichen Geflüchteten mit fehlenden oder ungültigen Identitätsdokumenten, so können Gerichte und Behörden medizinische Sachverständige mit der Erstattung altersdiagnostischer Gutachten beauftragen, wenn eine anderweitige rechtsgültige Überprüfung der Altersangaben nicht möglich erscheint [4, 5]. Dabei ist zu beachten, dass Ärzte, die im Auftrag staatlicher Institutionen eine altersdiagnostische Begutachtung durchführen (meist Spezialisten aus Rechtsmedizin, Radiologie oder Zahnmedizin), keinen Behandlungsvertrag im Sinne eines Arzt-Patienten-Verhältnisses schließen. Es handelt sich vielmehr um ein öffentlich-rechtliches Vertragsverhältnis zwischen medizinischen Sachverständigen und beauftragender Institution (Ärztin/Arzt in der Rolle des Sachverständigen) [6].

Ziel einer Forensischen Altersdiagnostik ist nicht die tag- oder monatsgenaue „Altersbestimmung“, sondern der Nachweis des Überschreitens juristisch relevanter Altersgrenzen mit einem bestimmten Beweismaß (daher: forensische „Altersschätzung“) [7]. Dahinter steht die Tatsache, dass in Deutschland, ebenso wie auch in zahlreichen anderen Ländern, verschiedene juristische Entscheidungen von der Über- oder Unterschreitung gesetzlich definierter Altersgrenzen abhängen, z. B. der Anspruch auf Unterkunft und finanzielle Ressourcen bei unbegleiteten minderjährigen Geflüchteten nach Inobhutnahme durch das Jugendamt oder die Anwendung des (milderen) Jugendstrafrechts bei noch minderjährigen Angeklagten. Die juristisch relevanten Altersgrenzen sind in Deutschland das 14., 18. und 21. Lebensjahr und betreffen verschiedene zivil- und strafrechtliche Fragestellungen (Übersichten bei [4, 5, 8]). Dabei ist es – z. B. beim Thema Volljährigkeit – unerheblich, wie genau das Lebensalter geschätzt werden kann, denn rechtsrelevant ist nicht die Frage, ob die untersuchte Person genau 19,5 Jahre oder 25,7 Jahre alt ist, sondern, ob das Überschreiten des 18. Lebensjahres zweifelsfrei nachgewiesen werden kann, und genau das ist möglich.

In einem altersdiagnostischen Gutachten sind zumeist das wahrscheinlichste Alter und/oder das absolute Mindestalter einer Person anzugeben, z. T. soll auch zu angeblichen Geburtsdaten Stellung genommen werden [4, 5, 9]. Das absolute Mindestalter entspricht dem Alter der jüngsten Person der Referenzpopulation,

die die entsprechende Merkmalsausprägung aufwies [4]. Bei der synoptischen Betrachtung mehrerer Merkmale ist aus denklogischen Gründen stets das höchste festgestellte Mindestalter maßgeblich und nicht das niedrigste [5, 10].

Prinzip der Altersdiagnostik und Einflussfaktoren

Die klassische forensische Altersschätzungspraxis basiert auf der wissenschaftlich begründeten Anwendung der bei allen Menschen in identischer Weise ablaufenden Entwicklung verschiedener Reifeindikatoren, z. B. Zahn- und Skelettentwicklung [4]. Dabei werden definierte Entwicklungsstadien durchlaufen und können mittels bildgebender Verfahren dokumentiert werden [4, 9]. Durch Anwendung von Referenzstudien an Probanden mit gesichertem Lebensalter wird eine Altersschätzung von Personen mit unbekanntem Lebensalter möglich.

Die ethnische Zugehörigkeit bzw. genetisch-geografische Herkunft einer Person hat nach derzeitigem wissenschaftlichem Kenntnisstand keinen relevanten Einfluss auf die Reihenfolge der definierten Stadien der Skelettreifung [11, 12], sodass die einschlägigen Referenzstudien auf andere ethnische Gruppen übertragbar sind [13]. Besonderheiten bestehen jedoch bei der hier nicht näher betrachteten Weisheitszahnmineralisation, bei welcher daher populationspezifische Referenzstudien verwendet werden müssen [14, 15].

Anders als bei der ethnischen Zugehörigkeit kann der sozioökonomische Status populationspezifische Unterschiede im zeitlichen Verlauf der Skelettreifung bedingen (Entwicklungsverzögerung bei niedrigerem sozioökonomischem Status) [11, 16]. Dies ist in der Forensischen Altersdiagnostik zu berücksichtigen und gelingt durch die Nutzung von Referenzstudien, die an Populationen mit höherem sozioökonomischem Status erhoben wurden. Dadurch wird eine altersdiagnostisch begutachtete Person mit niedrigerem sozioökonomischem Status eher jünger geschätzt als sie eigentlich ist, was bei den allermeisten zivil- und strafrechtlichen Fragestellungen keinen Nachteil für die untersuchte Person darstellt [11]. Eine Ausnahme bildet allenfalls der Bereich der Sportwettkämpfe, wo „falsch zu niedrige“ Altersdiagnosen in bestimmten Situationen nachteilhaft sein können [17].

Vorgehen in der forensischen Altersschätzung

Die Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik (AGFAD) der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin (DGRM) empfiehlt

bei Vorliegen einer gesetzlichen Ermächtigungsgrundlage für die Anwendung von Röntgenstrahlen ein dreistufiges Vorgehen [9]:

1. Anamneseerhebung und körperliche Untersuchung dienen v. a. dem Ausschluss von Krankheiten und Medikationen, die mit einer Akzeleration körperlicher Entwicklungsmerkmale einhergehen können (z. B. Pubertas praecox) [18]. Das Nichterkennen von Akzelerationsfaktoren kann zu einer juristisch nachteilhaften Überschätzung des Lebensalters führen. Dies ist strengstens zu vermeiden. Werden keine Auffälligkeiten festgestellt, ist die Voraussetzung gegeben, um vom biologischen Alter (z. B. Zahnalter oder Skeletalter) auf das chronologische Alter schließen zu können. Zusätzlich werden anthropometrische Maße sowie äußerlich erkennbare sexuelle Reifezeichen erfasst.
2. Es folgt die Röntgenuntersuchung der linken Hand und die Orthopantomographie (OPG) des Kiefers. Letztere dient v. a. der radiologischen Evaluation der Weisheitszahnmineralisation, auf die im vorliegenden Beitrag nur marginal eingegangen und bzgl. näherer Details auf andere Arbeiten verwiesen wird [5, 14, 15]. Nach AGFAD wird bei dieser Untersuchungsstufe auch eine zahnärztliche Inspektion der Mundhöhle empfohlen.
3. Stellt die (Kinder-)Radiologie die abgeschlossene Entwicklung des Handskeletts fest, schließt sich als dritte Untersuchungsstufe eine Computertomographie (CT) der Sternoclaviculargelenkregion an. Dies ist erforderlich, da sowohl die Wachstumsfugen von Hand und Handgelenk als auch die Weisheitszahnmineralisation bereits vor dem 18. Lebensjahr vollständig abgeschlossen sein können [19, 20]. Nur mithilfe einer Bewertung des später vollendeten Ossifikationsprozesses der medialen Claviculaepiphysen sind Aussagen zum 18. und 21. Lebensjahr möglich [21].

Klassische radiologische Methoden

Da zwischen den Reifungsvorgängen verschiedener Teile des menschlichen Skeletts sehr enge Beziehungen bestehen, kann der Reifezustand einzelner definierter Skelettabschnitte als Ausdruck der allgemeinen Skelettreife aufgefasst werden [22, 23]. Die Ossifikation des Handskeletts wird als repräsentativ für die gesamte Skelettreife – und damit auch für das sog. Skeletalter – betrachtet [24–26]. Neben dem aus diesem Grund angezeigten Handröntgen ist für die Forensische Altersdiagnostik entsprechend der oben beschriebenen AGFAD-Empfehlungen auch die CT der medialen Claviculaepiphysen von Bedeutung [9].

Handröntgen

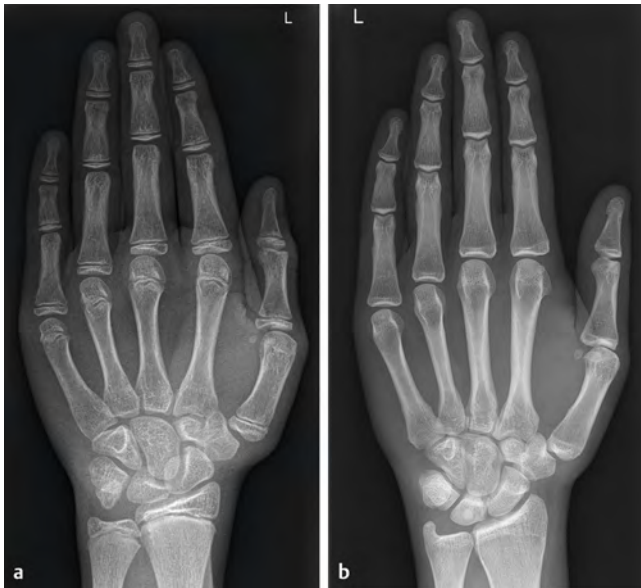
Umfassende Übersichten und Hintergründe zur Röntgenuntersuchung von Hand und Handgelenk im Kontext der forensischen Altersschätzung finden sich bei Schmidt et al. [23] und bei Schmeling et al. [4, 5]. Grundsätzlich erfolgt die standardisierte projektionsradiographische Aufnahme der linken Hand im dorso-volgaren Strahlengang. Die distalen Anteile von Radius und Ulna müssen mit abgebildet sein, da die Fusion dieser Epiphysen den Reifungsprozess des gesamten Handskeletts beendet und daher von großer Bedeutung ist. Das Handradiogramm ist aus einigen Gründen für die Forensische Altersdiagnostik besonders geeignet: relativ geringe interindividuelle Variabilität, hohe Anzahl an be-

wertbaren Ossifikationszentren, gute Zugänglichkeit für standardisierte röntgenologische Darstellung und sehr geringe, körperstammferne Strahlenexposition [23].

Zur Bestimmung des Handskeletalters werden Form und Größe der einzelnen Knochenelemente sowie der Ossifikationsgrad der Epiphysenfugen beurteilt. Hierfür stehen Atlasmethoden (Vergleich des erstellten Handradiogramms mit Standardaufnahmen [24, 25, 27]) und Einzelknochenmethoden (z. B. Reifegradbestimmung von Ulna, Radius oder Knochenelementen des I., III. und V. Strahls [26, 28–30]) zur Auswahl. Planimetrische Methoden konnten sich nicht durchsetzen. Da der höhere Zeitaufwand der Einzelknochenmethoden die Aussagegenauigkeit nicht wesentlich verbessert, werden die etablierten Atlasmethoden von Greulich u. Pyle [24] und von Thiemann et al. [25] für die forensische Altersschätzungspraxis empfohlen [31]. Sie sind heute trotz früher eintretender Pubertät weiter valide einsetzbar [32]. Der Einsatz computerassistierter Systeme zur Altersschätzung ist nach Meinung der Autoren für den Gutachtenfall im Rahmen der forensischen Altersdiagnostik (bislang) nicht zu empfehlen.

Die am weitesten verbreitete Atlasmethode zur Bestimmung des Skeletalters ist das Verfahren nach Greulich u. Pyle [24]. Der Atlas enthält nach Geschlechtern getrennt die jeweils repräsentativsten von 100 Handradiogrammen altersidentischer Kinder und Jugendlicher einer sozioökonomisch hochentwickelten Population aus Cleveland, USA, zwischen 0 und 19 Jahren (männliche Individuen) bzw. zwischen 0 und 18 Jahren (weibliche Individuen), die in den 1930er Jahren angefertigt wurden. Zur Bestimmung des Handskeletalters wird das zu beurteilende Handradiogramm mit den alters- und geschlechtsspezifischen Referenzaufnahmen des Atlas visuell verglichen. Bei der Bewertung des Handskeletalters ist zu beachten, dass eine große physiologische Schwankungsbreite vorliegt. Die beim Vorliegen einer dissoziierten Reifung bestehenden Schwierigkeiten in der Diagnose des Handskeletalters (z. B. unterschiedlicher Reifegrad zwischen Fingerepiphysen und Carpalia) spielen bei fortgeschrittener Skelettentwicklung – und damit in der Forensischen Altersdiagnostik – allerdings in der Regel keine wesentliche Rolle mehr.

Für die weitere Nutzung des (kinder-)radiologischen Befundes nach Greulich u. Pyle [24] ist im Rahmen der Forensischen Altersdiagnostik die Anwendung von forensischen Referenzstudien erforderlich, die einerseits die Greulich/Pyle-Methode verwendet haben und andererseits auch skeletaltersspezifische Streuungsmaße angeben [19, 33]. Erfüllt das zu beurteilende Handradiogramm z. B. die Reifekriterien des „MALE STANDARD 26“ (= Handskeletalter von 15 Jahren), aber noch nicht diejenigen des „MALE STANDARD 27“ (= Handskeletalter von 15,5 Jahren), so wird die Aufnahme dem Handskeletalter von 15 Jahren zugeordnet. Nach Tisé et al. [19] wird nun das mittels Greulich/Pyle-Methode bestimmte „Handskeletalter 15 Jahre“ bei männlichen Individuen frühestens mit einem chronologischen Alter von 13,8 Jahren beobachtet, spätestens mit 16,3 Jahren und im Median mit 15,1 Jahren (Interquartilsabstand 0,6 Jahre). Das bedeutet, dass das in diesem Fall unter Anwendung der Referenzdaten von Tisé et al. [19] festgestellte Ergebnis der Skeletaltersbestimmung („Handskeletalter 15 Jahre“) also auch bei Personen unterhalb der juristisch relevanten Altersgrenze von 14 Jahren vorkommt und somit – bei alleiniger Betrachtung des Altersindikators „Handskeletalter“ –



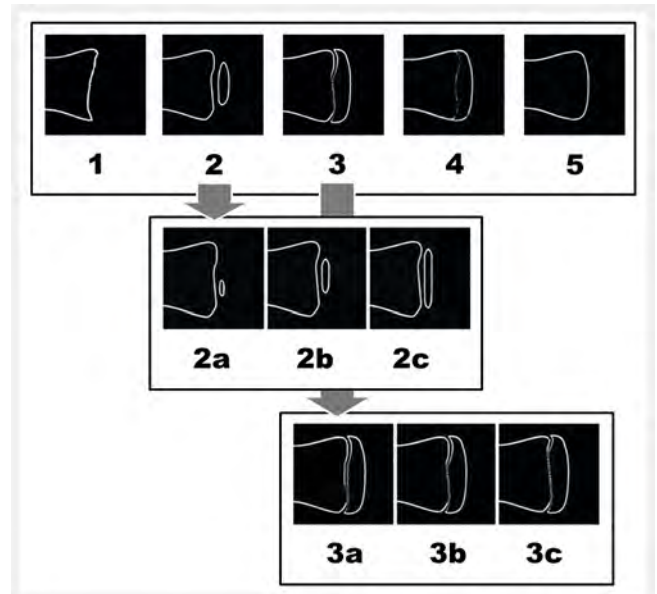
► **Abb. 1** Handradiogramm in der Forensischen Altersdiagnostik. **a** Linkseitiges Handradiogramm eines 13 Jahre und 10 Monate alten Jungen aus der klinischen Routinediagnostik. Die Aufnahme erfüllt bei Anwendung der Greulich/Pyle-Methode die Kriterien des „MALE STANDARD 23“ (= Handskeletalter von 13 Jahren). Die Kriterien des „MALE STANDARD 24“ (= Handskeletalter von 13,5 Jahren) werden noch nicht erfüllt. Wäre das Alter dieser Person unbekannt und würde die Frage nach dem strafrechtlich relevanten vollendeten 14. Lebensjahr bestehen, so könnte im vorliegenden Fall gemäß einschlägiger Referenzliteratur nicht mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit belegt werden, dass die betroffene Person bereits strafmündig ist. **b** Linkseitiges Handradiogramm einer männlichen Person mit unbekanntem Alter. Das Handskelett ist vollständig ausgereift, insbesondere die beiden distalen Epiphysenfugen von Radius und Ulna sind vollständig ossifiziert. Die Aufnahme erfüllt somit bei Anwendung der Greulich/Pyle-Methode die Kriterien des im Atlas zuletzt genannten „MALE STANDARD 31“ (= Handskeletalter von 19 Jahren). Nach Tisè et al. [19] kann ein solches „Handskeletalter 19 Jahre“ bei Frühentwicklern bereits mit einem chronologischen Alter 16,1 Jahren vorkommen. Somit kann Volljährigkeit (vollendetes 18. Lebensjahr) bei Vorliegen einer abgeschlossenen Handskelettentwicklung nicht zweifelsfrei angenommen werden. Es ist daher die zusätzliche Untersuchung der medialen Schlüsselbeinenden mittels CT indiziert.

die untersuchte Person das 14. Lebensjahr nicht mit der im Strafrecht erforderlichen an Sicherheit grenzenden Wahrscheinlichkeit überschritten hat (Mindestalterkonzept nach Schmeling et al. [4]). Weitere Fallbeispiele zeigt ► **Abb. 1**.

Für die finale Altersdiagnose ist jedoch i. d. R. nicht allein das Handskeletalter von Bedeutung. Gemäß der o. g. AGFAD-Empfehlungen ist noch mindestens ein weiteres Entwicklungssystem zu berücksichtigen, üblicherweise die Weisheitszahnmineralisation, sofern diese im OPG beurteilbar ist, und – bei abgeschlossener Handskelettentwicklung – der Ossifikationsgrad der medialen Claviculaepiphysen.

CT der medialen Claviculaepiphysen

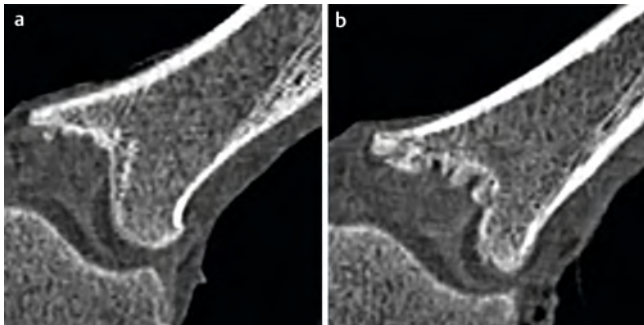
Die Clavicula des Menschen weist als erster Knochen ein primäres und als letzter Knochen ein sekundäres Ossifikationszentrum (Epi-



► **Abb. 2** Etabliertes Klassifikationssystem für die mediale Claviculaepiphyse in der Forensischen Altersdiagnostik. Die erste Reihe zeigt die fünf Hauptstadien nach Schmeling et al. [35]: 1 = Epiphyse nicht ossifiziert; 2 = isoliertes Ossifikationszentrum der Epiphyse; 3 = partielle knöcherne Fusion zwischen epiphysärem Ossifikationszentrum und Metaphyse; 4 = Epiphyse vollständig ossifiziert und Epiphysenfugenarbe noch erkennbar; 5 = Epiphyse vollständig ossifiziert und Epiphysenfugenarbe nicht mehr erkennbar. Die zweite und dritte Reihe zeigen die Unterstadien nach Kellinghaus et al. [36]: 2a = Länge der ossifizierten Epiphyse beträgt maximal ein Drittel der Metaphysenbreite; 2b = Epiphysenlänge beträgt mehr als ein Drittel und maximal zwei Drittel der Metaphysenbreite; 2c = Epiphysenlänge beträgt mehr als zwei Drittel der Metaphysenbreite; 3a = Die knöcherne Fusionsstrecke zwischen Epiphyse und Metaphyse beträgt maximal ein Drittel der Epiphysenfuge; 3b = Die knöcherne Fusionsstrecke zwischen Epiphyse und Metaphyse beträgt mehr als ein Drittel und maximal zwei Drittel der Epiphysenfuge; 3c = Die knöcherne Fusionsstrecke zwischen Epiphyse und Metaphyse beträgt mehr als zwei Drittel der Epiphysenfuge.

physe) auf [34]. Da bei Frühentwicklern sowohl die Handskelettentwicklung als auch die Weisheitszahnmineralisation bereits vor dem 18. Lebensjahr vollständig abgeschlossen sein können (► **Abb. 1b**) [19, 20], ist zu Fragen des abgeschlossenen 18. oder 21. Lebensjahres eine native CT-Untersuchung der medialen Claviculaepiphysen (MCE) mit Darstellung im Knochen- und Weichteilfenster erforderlich. Die Beurteilung des Ossifikationsgrades der MCE erfolgt mittels Zuordnung zu einem der fünf Hauptstadien nach Schmeling et al. (2004) [35] und zusätzlich – bei Vorliegen des Hauptstadiums 2 oder 3 – mittels weiterer Subklassifizierung nach Kellinghaus et al. (2010) [36] zu den Unterstadien 2a, 2b oder 2c bzw. 3a, 3b oder 3c (► **Abb. 2**). Für die sichere Bestimmung der Hauptstadien wurde ein eigener Algorithmus vorgeschlagen [37]. Neben der axialen Ansicht muss die coronare Betrachtungsebene bei der Stadienbestimmung berücksichtigt werden [38].

Da die Schichtdicke der CT-Aufnahmen einen erheblichen Einfluss auf die Stadienbestimmung ausübt, dürfen die rekonstruierten Schichten maximal 1 mm dick sein [39]. Die Qualifikation des



► **Abb. 3** Anatomische Normvarianten der medialen Claviculaepiphyse. **a** Fischmaulform. **b** Schüsselform mit multiplen Knochenkernen.

Befundenden spielt eine entscheidende Rolle: Unerfahrene tendieren z. B. dazu, diverse anatomische Normvarianten der MCE (► **Abb. 3**) unzulässigerweise einem der klassischen Haupt- oder Unterstadien zuzuordnen. Dies ist in dieser Situation aber nicht möglich, da nicht bekannt ist, ob die anatomischen Normvarianten denselben Korrelationen zwischen Entwicklungsgeschwindigkeit und morphologischer Erscheinung unterliegen wie die typischen stempelförmigen MCE, für die die Haupt- oder Unterstadien entwickelt wurden [40]. Die Stadienbestimmung bei den MCE sollte auch aus diesem Grund nach Möglichkeit immer im Konsensus von mindestens zwei Befundenden und nur von Befundenden mit entsprechend hohem Grad an spezifischer Qualifikation durchgeführt werden [40].

Mittlerweile wurde eine Vielzahl von forensischen CT-Studien zur MCE-Ossifikation publiziert, sodass diese Untersuchungsmethode aus Autorsicht auf einer sehr soliden Datenbasis steht [36, 41–45]. Aus der Studienlage ergibt sich, dass bei Vorliegen der Stadien 3c, 4 oder 5 das 18. Lebensjahr bei beiden Geschlechtern mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit als überschritten betrachtet werden kann. Die Stadien 4 und 5 belegen bei beiden Geschlechtern ein abgeschlossenes 21. Lebensjahr.

Kritiker der Forensischen Altersdiagnostik haben wiederholt die Studien von Bassed et al. (2011) [46] und Pattamapaspong et al. (2014) [47] angeführt, um das Vorkommen der Stadien 3c und 4 auch unterhalb des 18. Lebensjahres zu belegen. Allerdings ist an verschiedener Stelle bereits aufgezeigt worden [21, 42, 48, 49], dass diese beiden Arbeiten teils gravierende methodische Mängel und systematische Fehler aufweisen, z. B. das Nicht-Erkennen bzw. das unzulässige Bewerten anatomischer Normvarianten, was zu zahlreichen Fehlbestimmungen geführt haben dürfte. Auch Gerichte (z. B. das OVG Bremen) halten diese Studien für nichtbeachtenswert, da z. B. die Arbeit von Bassed et al. (2011) [46] als einzige von über 40 Studien mit mehr als 15 000 Probanden zu solchen Ergebnissen komme [50]. Die beiden o. g. Arbeiten können daher nicht als Referenzstudien für die Forensische Altersdiagnostik herangezogen werden.

In der aktuell gültigen AGFAD-Empfehlung wird neben der CT auch die projektionsradiographische Untersuchung zur Bewertung der MCE als gleichwertige Alternative benannt [9]. Die MCE in Standard-posterior-anterior-Röntgenaufnahmen, auf denen auch sämtliche radiographische Referenzdaten zu den MCE beruhen,

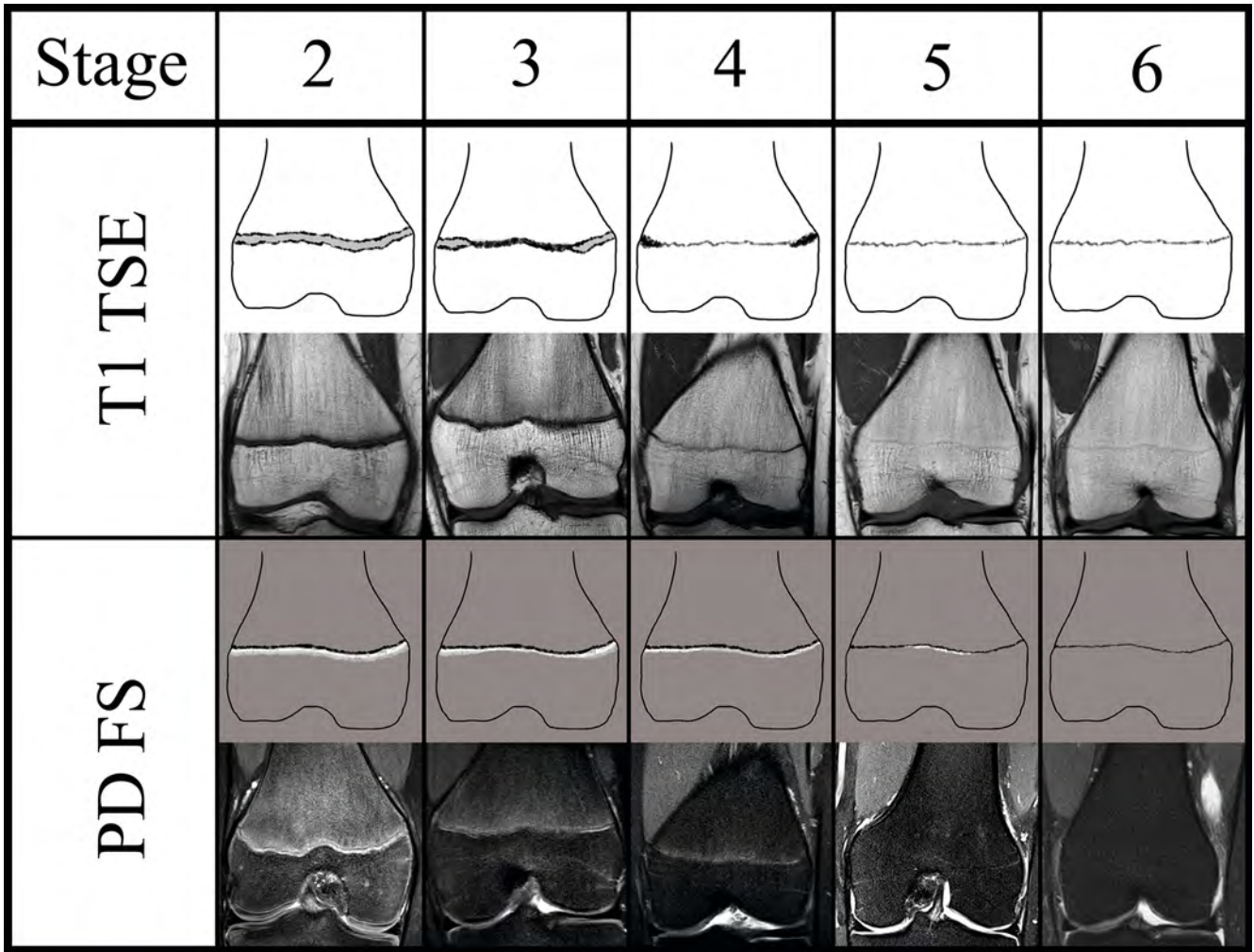
sind jedoch häufig wegen Superimpositionsphänomenen (z. B. Überlagerung von MCE und Wirbelsäule) nicht auswertbar. In der Praxis werden dann häufig ergänzende Schrägaufnahmen gefertigt (left anterior oblique [LAO] und right anterior oblique [RAO]), um die MCE beider Seiten beurteilen zu können [51]. Eine große Vergleichsstudie an mehr als 800 Schlüsselbeinen hat jedoch gezeigt, dass diese Vorgehensweise nicht selten zu falsch-hohen Ossifikationsstadien führt (z. B. Stadium 5 in LAO statt Stadium 3 in PA), wodurch strikt zu vermeidende Altersüberschätzungen eintreten [52]. Daraus wurde geschlossen, dass die MCE-Referenzdaten der PA-Aufnahmen nicht für Schrägaufnahmen zulässig sind und dass – sofern die radiologischen Untersuchungen zur Forensischen Altersdiagnostik im Vorfeld geplant werden können – die CT als Methode der Wahl und die projektionsradiographische Untersuchung als obsolet betrachtet werden müssen [52].

Indikationsstellung und strahlenschutzrechtliche Aspekte

Gemäß § 83 Abs. 1 des seit 2017 geltenden Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) darf ionisierende Strahlung wie Röntgenstrahlung in Deutschland grundsätzlich nur (1.) „im Rahmen einer medizinischen Exposition“ oder (2.) „im Rahmen der Exposition der Bevölkerung zur Untersuchung einer Person in durch Gesetz vorgesehenen oder zugelassenen Fällen oder nach Vorschriften des allgemeinen Arbeitsschutzes oder nach Einwanderungsbestimmungen anderer Staaten (nichtmedizinische Anwendung)“ zum Einsatz kommen. Da es sich bei den für die Forensische Altersdiagnostik erforderlichen Röntgenuntersuchungen nicht um medizinisch indizierte Untersuchungen handelt, fallen diese unter Punkt 2.

Im Fall der röntgenologischen Untersuchungen bei Altersschätzungen im Strafverfahren geschieht dies auf der Grundlage des § 81a der Strafprozessordnung (StPO). Im Zivilrecht kommen je nach Fragestellung diverse andere gesetzliche Ermächtigungsgrundlagen in Betracht, z. B. im Zusammenhang mit Inobhutnahmen und der Gewährung von Sozialleistungen: § 42 f SGB VIII und § 62 SGB I [50] (Übersichten bei [4, 5, 8]). Der medizinische Sachverständige sollte darauf achten, dass der richterliche Beschluss oder behördliche Antrag zur Durchführung einer Forensischen Altersdiagnostik die jeweilige einschlägige gesetzliche Ermächtigungsgrundlage und den Untersuchungsumfang umfassend und dezidiert benennt [8].

In jedem Fall hat nach § 83 Abs. 2 StrlSchG ein „Arzt oder Zahnarzt mit der erforderlichen Fachkunde im Strahlenschutz“ die „rechtfertigende Indikation“ zu stellen. Dort heißt es weiter: „Die rechtfertigende Indikation erfordert bei nichtmedizinischen Anwendungen die Feststellung, dass der mit der jeweiligen Untersuchung verbundene Nutzen gegenüber dem Strahlenrisiko überwiegt.“ Vergleiche der effektiven Strahlendosen der zur Forensischen Altersdiagnostik eingesetzten Röntgenuntersuchungen (z. B. Handradiogramm: 0,0001 mSv, OPG: 0,026 mSv, CT Claviculae: 0,4 mSv) mit denjenigen natürlicher und zivilisatorischer Strahlenexpositionen (z. B. durchschnittliche natürliche Strahlenexposition in Deutschland pro Jahr: 2,1 mSv) haben gezeigt, dass eine oberhalb üblicher Alltagsrisiken liegende Gesundheitsgefährdung durch die röntgeno-



► **Abb. 4** Fünf Stadien umfassendes MRT-Klassifikationssystem nach Vieth et al. [62] (Stadien 2 bis 6), hier am Beispiel für die distale Femurepiphyse: 2 = eine kontinuierliche, intermediäre Bande in T1 und zwei kontinuierliche oder diskontinuierliche hyperintense Linien in T2/PD FS; 3 = eine diskontinuierliche, intermediäre Bande in T1 und zwei hyperintense, sporadisch zusammenlaufende Linien in T2/PD FS; 4 = eine diskontinuierliche, intermediäre Linie mit dickeren hypointensen Abschnitten in T1 und eine dünne, diskontinuierliche Linie in T2/PD FS; 5 = eine kontinuierliche, intermediäre Linie in T1 und eine diskontinuierliche, hyperintense Linie in T2/PD FS; 6 = eine kontinuierliche, intermediäre Linie in T1 und kein hyperintenses Signal mehr in T2/PD FS.

logischen Untersuchungen der Forensischen Alltagsdiagnostik nicht anzunehmen ist [53, 54].

Alternative radiologische Methoden und Ausblick

Neben Handskelett und Schlüsselbeinen werden im Rahmen stetiger Forschungsbemühungen auch andere Bestandteile des Skelettsystems als Altersindikatoren für die Forensische Altersdiagnostik in Erwägung gezogen. Beispielsweise erwies sich die Apophyse der Crista iliaca als geeignet für Aussagen zum 14. und 16. Lebensjahr [55, 56]. Aufgrund der hohen Strahlenexposition der Gonadenregion kommt dieser Altersindikator jedoch in der Praxis in Deutschland im Wesentlichen nur zum Einsatz, wenn bereits im Vorfeld identitätsgesicherte Aufnahmen mit bekanntem Entstehungsdatum vorliegen.

Bei forensischen Altersschätzungen ohne Rechtsgrundlage für Röntgenuntersuchungen stehen die röntgenstrahlenfreien bildgebenden Verfahren im Fokus. Für die sonographische Beurteilung der Ossifikation verschiedener Skelettregionen existieren erste Referenzstudien, die Aussagen zum vollendeten 14. und 18. Lebensjahr zulassen (Zusammenfassung bei [57]). Die altersdiagnostische Evaluierung der Magnetresonanztomographie (MRT) ist Gegenstand zahlreicher internationaler Untersuchungen und einer der aktuellen Forschungsschwerpunkte in der Forensischen Altersdiagnostik (Übersicht bei [58]).

Betreffend die MRT wurden in der Vergangenheit zumeist T1-gewichtete MR-Sequenzen verwendet, um bei entsprechend guter Detail- und Kontrastaufklärung knöcherne Strukturen optimal darzustellen und zu analysieren. Der zweifelsfreie Nachweis des vollendeten 18. Lebensjahres gelingt – wie beim CT – auch mit Hilfe von MRT-Untersuchungen der Schlüsselbeine [59–61]. In der Praxis hat sich die MRT der MCE jedoch bislang nicht etabliert,

da im Vergleich zum CT eine deutlich schlechtere Referenzdatenlage besteht und dementsprechend bislang keine AGFAD-Empfehlung vorliegt. Auch die längeren Scanzeiten, etwaige Kontraindikationen, die höheren Kosten und die vermehrt erforderliche Compliance zur Vermeidung von Bildartefakten (und damit die Gefahr der Unauswertbarkeit) dürften dazu geführt haben, dass bei rechtlich gegebener Anwendbarkeit von Röntgenstrahlen die CT gegenüber der MCE nach wie vor bevorzugt wird.

Als besonders zukunftsfähig erscheint ein 2018 von Vieth et al. [62] vorgeschlagenes 5-stufiges Klassifikationssystem (Stadium 2 bis 6), welches im 3-Tesla-MR-Scanner neben einer T1-gewichteten auch eine T2- oder Protonendichte-gewichtete MR-Sequenz mit Fettsättigung erfordert (► **Abb. 4**). Die Autoren konnten zeigen, dass unter Anwendung dieses Klassifikationssystems der sichere Nachweis des vollendeten 18. Lebensjahres auch an den beiden Epiphysen des Kniegelenkes (proximale Tibiaepiphyse [PTE] und distale Femurepiphyse [DFE]) potenziell möglich ist [62]. Inzwischen liegen erste Validierungsstudien bei 1,5 Tesla [63, 64] und 0,31 Tesla („low-field“ MRT) [65] vor. Die aktuelle Datenlage deutet darauf hin, dass das Stadium 6 in der PTE (bei männlichen Individuen) und das Stadium 6 in der DFE (bei beiden Geschlechtern) ausschließlich oberhalb des 18. Lebensjahres vorkommen [62–64]. Diese relativ neuartige Methodik scheint nicht nur für Situationen geeignet, in denen sich die Anwendung von Röntgenstrahlung verbietet, sondern auch, wenn die CT der Schlüsselbeine aufgrund beidseitiger Normvarianten für eine Altersschätzung nicht verwendbar ist.

Interessenkonflikt

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- [1] Mentzel HJ, Wittschieber D. Radiologische Methoden zur Altersdiagnostik: Klinische und forensische Aspekte. *Radiologie (Heidelb)* 2023; 63: 129–140
- [2] Hagen M, Schmidt S, Schulz R et al. Forensic age assessment of living adolescents and young adults at the Institute of Legal Medicine, Münster, from 2009 to 2018. *Int J Legal Med* 2020; 134: 745–751
- [3] Taranilla Castro AM, Pujol-Robinat A, Badía García MA et al. Forensic age estimation in Barcelona: analysis of expert reports issued between 2011 and 2018. *Int J Legal Med* 2023; 137: 395–402
- [4] Schmeling A, Dettmeyer R, Rudolf E et al. Forensic Age Estimation. *Dtsch Arztebl Int* 2016; 113: 44–50
- [5] Schmeling A, Kreitner KF, Heindel W et al. Bildgebung zur forensischen Altersdiagnostik bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen. *Radiologie up2date* 2019; 19: 63–75
- [6] Parzeller M. Rechtliche Aspekte der forensischen Altersdiagnostik. *Rechtsmedizin* 2010; 21: 12–21
- [7] Vorstand der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin (DGRM). Stellungnahme: Forensische Altersdiagnostik bei unbegleiteten minderjährigen Flüchtlingen. 02.05.2018. <https://www.dgrm.de/news/stellungnahmen/stellungnahme-forensische-altersdiagnostik-bei-unbegleiteten-minderjaehrigem-fluechtlingen> Last Access: 07 May 2023
- [8] Parzeller M. Juristische Aspekte der forensischen Altersdiagnostik. *Rechtsprechung-Update* 2010–2014. *Rechtsmedizin* 2015; 25: 21–29
- [9] Schmeling A, Grundmann C, Fuhrmann A et al. Criteria for age estimation in living individuals. *Int J Legal Med* 2008; 122: 457–460
- [10] Schumacher G, Schmeling A, Rudolf E. Medical age assessment of juvenile migrants: an analysis of age marker-based assessment criteria. Publications Office of the European Union, Luxembourg 2018. doi:10.2760/47096
- [11] Schmeling A, Reisinger W, Loreck D et al. Effects of ethnicity on skeletal maturation: consequences for forensic age estimations. *Int J Legal Med* 2000; 113: 253–258
- [12] Meijerman L, Maat GJ, Schulz R et al. Variables affecting the probability of complete fusion of the medial clavicular epiphysis. *Int J Legal Med* 2007; 121: 463–468
- [13] Schmeling A, Olze A, Reisinger W et al. Der Einfluss der Ethnie auf die bei strafrechtlichen Altersschätzungen untersuchten Merkmale. *Rechtsmedizin* 2001; 11: 78–81
- [14] Olze A, Schmeling A, Taniguchi M et al. Forensic age estimation in living subjects: the ethnic factor in wisdom tooth mineralization. *Int J Legal Med* 2004; 118: 170–173
- [15] Olze A, Bilang D, Schmidt S et al. Validation of common classification systems for assessing the mineralization of third molars. *Int J Legal Med* 2005; 119: 22–26
- [16] Schmeling A, Schulz R, Danner B et al. The impact of economic progress and modernization in medicine on the ossification of hand and wrist. *Int J Legal Med* 2006; 120: 121–126
- [17] Timme M, Steinacker JM, Schmeling A. Age estimation in competitive sports. *Int J Legal Med* 2017; 131: 225–233
- [18] Schmeling A. Forensische Altersdiagnostik bei lebenden Jugendlichen und jungen Erwachsenen. *Rechtsmedizin* 2011; 21: 151–162
- [19] Tisè M, Mazzarini L, Fabrizio G et al. Applicability of Greulich and Pyle method for age assessment in forensic practice on an Italian sample. *Int J Legal Med* 2011; 125: 411–416
- [20] Olze A, Solheim T, Schulz R et al. Evaluation of the radiographic visibility of the root pulp in the lower third molars for the purpose of forensic age estimation in living individuals. *Int J Legal Med* 2010; 124: 183–186
- [21] Schmeling A, Schmidt S, Schulz R et al. Studienlage zum zeitlichen Verlauf der Schlüsselbeinossifikation. *Rechtsmedizin* 2014; 24: 467–474
- [22] Pelech L, Pechstein J. Vergleichende Untersuchungen über die Entwicklung des Skeletalters bei tschechischen und süddeutschen Kindern. *Arztl Jugendkd* 1976; 67: 23–28
- [23] Schmidt S, Fracasso T, Pfeiffer H et al. Skeletaltersbestimmung der Hand. *Rechtsmedizin* 2010; 20: 475–482
- [24] Greulich WW, Pyle SI. Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist. Stanford: Stanford University Press; 1959: 256
- [25] Thiemann HH, Nitz I, Schmeling A. Röntgenatlas der normalen Hand im Kindesalter. Stuttgart: Thieme; 2006: 149
- [26] Roche AF, Chumlea WC, Thissen D. Assessing the skeletal maturity of the hand-wrist: Fels method. Springfield: Thomas; 1988: 339
- [27] Gilsanz V, Ratib O. Hand bone age. A digital atlas of skeletal maturity. Berlin Heidelberg New York Tokio: Springer; 2005: 92
- [28] Tanner JM, Whitehouse RH, Marshall WA et al. Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW2 method). 2nd ed. London: Academic Press; 1983: 106
- [29] Tanner JM, Healy MJR, Goldstein H et al. Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW3 method). London: Saunders; 2001: 128
- [30] Baumann U, Schulz R, Reisinger W et al. Reference study on the time frame for ossification of the distal radius and ulnar epiphyses on the hand radiograph. *Forensic Sci Int* 2009; 191: 15–18
- [31] Schmidt S, Nitz I, Ribbecke S et al. Skeletal age determination of the hand: a comparison of methods. *Int J Legal Med* 2013; 127: 691–698
- [32] van Rijn RR, Lequin MH, Robben SG et al. Is the Greulich and Pyle atlas still valid for Dutch Caucasian children today? *Pediatric Radiology* 2001; 31: 748–752

- [33] Schmidt S, Koch B, Schulz R et al. Studies in use of the Greulich-Pyle skeletal age method to assess criminal liability. *Leg Med (Tokyo)* 2008; 10: 190–195
- [34] Cunningham C, Scheuer L, Black S. *Developmental juvenile osteology*. 2nd ed. San Diego: Academic Press; 2016: 630
- [35] Schmeling A, Schulz R, Reisinger W et al. Studies on the time frame for ossification of the medial clavicular epiphyseal cartilage in conventional radiography. *Int J Legal Med* 2004; 118: 5–8
- [36] Kellinghaus M, Schulz R, Vieth V et al. Enhanced possibilities to make statements on the ossification status of the medial clavicular epiphysis using an amplified staging scheme in evaluating thin-slice CT scans. *Int J Legal Med* 2010; 124: 321–325
- [37] Wittschieber D, Schulz R, Pfeiffer H et al. Systematic procedure for identifying the five main ossification stages of the medial clavicular epiphysis using computed tomography: a practical proposal for forensic age diagnostics. *Int J Legal Med* 2017; 131: 217–224
- [38] Scharte P, Vieth V, Schulz R et al. Comparison of imaging planes during CT-based evaluation of clavicular ossification: a multi-center study. *Int J Legal Med* 2017; 131: 1391–1397
- [39] Mühler M, Schulz R, Schmidt S et al. The influence of slice thickness on assessment of clavicle ossification in forensic age diagnostics. *Int J Legal Med* 2006; 120: 15–17
- [40] Wittschieber D, Schulz R, Vieth V et al. Influence of the examiner's qualification and sources of error during stage determination of the medial clavicular epiphysis by means of computed tomography. *Int J Legal Med* 2014; 128: 183–191
- [41] Kellinghaus M, Schulz R, Vieth V et al. Forensic age estimation in living subjects based on the ossification status of the medial clavicular epiphysis as revealed by thin-slice multidetector computed tomography. *Int J Legal Med* 2010; 124: 149–154
- [42] Wittschieber D, Schulz R, Vieth V et al. The value of sub-stages and thin slices for the assessment of the medial clavicular epiphysis: a prospective multi-center CT study. *Forensic Sci Med Pathol* 2014; 10: 163–169
- [43] Wittschieber D, Schmidt S, Vieth V et al. Subclassification of clavicular substage 3a is useful for diagnosing the age of 17 years. *Rechtsmedizin* 2014; 24: 485–488
- [44] Ekizoglu O, Hocaoglu E, Inci E et al. Estimation of forensic age using substages of ossification of the medial clavicle in living individuals. *Int J Legal Med* 2015; 129: 1259–1264
- [45] Hermetet C, Saint-Martin P, Gambier A et al. Forensic age estimation using computed tomography of the medial clavicular epiphysis: a systematic review. *Int J Legal Med* 2018; 132: 1415–1425
- [46] Bassed RB, Drummer OH, Briggs C et al. Age estimation and the medial clavicular epiphysis: analysis of the age of majority in an Australian population using computed tomography. *Forensic Sci Med Pathol* 2011; 7: 148–154
- [47] Pattamaspong N, Madla C, Mekjaidee K et al. Age estimation of a Thai population based on maturation of the medial clavicular epiphysis using computed tomography. *Forensic Sci Int* 2015; 246: 123.e1–5
- [48] Schmeling A. Die aktuelle medizinethische Debatte über die forensische Altersdiagnostik bei unbegleiteten minderjährigen Flüchtlingen. Masterarbeit, 01.10.2018. https://www.dgrm.de/fileadmin/PDF/AG_FAD/masterarbeit_schmeling.pdf Last Access: 07 May 2023
- [49] Rudolf E, Kramer J, Schmidt S et al. Intraindividual incongruences of medially ossifying clavicles in borderline adults as seen from thin-slice CT studies of 2595 male persons. *Int J Legal Med* 2018; 132: 629–636
- [50] Befurt L, Kirchhoff G, Rudolf E et al. Juristische Aspekte der forensischen Altersdiagnostik auf der Grundlage des § 42f SGB VIII. *Rechtsmedizin* 2020; 30: 241–248
- [51] Bontrager KL, Lampignano JP. *Textbook of radiographic positioning and related anatomy*. St. Louis: Mosby/Elsevier. 2009
- [52] Wittschieber D, Ottow C, Vieth V et al. Projection radiography of the clavicle: still recommendable for forensic age diagnostics in living individuals? *Int J Legal Med* 2015; 129: 187–193
- [53] Schmeling A, Reisinger W, Wormann D et al. Strahlenexposition bei Röntgenuntersuchungen zur forensischen Altersschätzung Lebender. *Rechtsmedizin* 2000; 10: 135–137
- [54] Meier N, Schmeling A, Loose R et al. Altersdiagnostik und Strahlenexposition. *Rechtsmedizin* 2015; 25: 30–33
- [55] Wittschieber D, Vieth V, Domnick C et al. The iliac crest in forensic age diagnostics: evaluation of the apophyseal ossification in conventional radiography. *Int J Legal Med* 2013; 127: 473–479
- [56] Wittschieber D, Schmeling A, Schmidt S et al. The Risser sign for forensic age estimation in living individuals: a study of 643 pelvic radiographs. *Forensic Sci Med Pathol* 2013; 9: 36–43
- [57] Schulz R, Schmidt S, Pfeiffer H et al. Sonographische Untersuchungen verschiedener Skelettregionen. *Forensische Altersdiagnostik bei lebenden Jugendlichen und jungen Erwachsenen*. *Rechtsmedizin* 2014; 24: 480–484
- [58] De Tobel J, Bauwens J, Parmentier GIL et al. Magnetic resonance imaging for forensic age estimation in living children and young adults: a systematic review. *Pediatr Radiol* 2020; 50: 1691–1708
- [59] Ottow C, Kramer JA, Olze A et al. Magnetic resonance tomography studies on age estimation of unaccompanied minor refugees. *Rechtsmedizin* 2015; 25: 12–20
- [60] Schmidt S, Henke CA, Wittschieber D et al. Optimising magnetic resonance imaging-based evaluation of the ossification of the medial clavicular epiphysis: a multi-centre study. *Int J Legal Med* 2016; 130: 1615–1621
- [61] Schmidt S, Ottow C, Pfeiffer H et al. Magnetic resonance imaging-based evaluation of ossification of the medial clavicular epiphysis in forensic age assessment. *Int J Legal Med* 2017; 131: 1665–1673
- [62] Vieth V, Schulz R, Heindel W et al. Forensic age assessment by 3.0T MRI of the knee: proposal of a new MRI classification of ossification stages. *Eur Radiol* 2018; 28: 3255–3262
- [63] Wittschieber D, Chitavishvili N, Papageorgiou I et al. Magnetic resonance imaging of the proximal tibial epiphysis is suitable for statements as to the question of majority: a validation study in forensic age diagnostics. *Int J Legal Med* 2022; 136: 777–784
- [64] Chitavishvili N, Papageorgiou I, Malich A et al. The distal femoral epiphysis in forensic age diagnostics: studies on the evaluation of the ossification process by means of T1- and PD/T2-weighted magnetic resonance imaging. *Int J Legal Med* 2023; 137: 427–435
- [65] Ottow C, Schmidt S, Schulz R et al. Forensische Altersdiagnostik mittels Niederfeld-Magnetresonanztomographie. *Rechtsmedizin* 2023; 33: 96–104